

Folyékony szilikongyanta mikrofröccsöntése (2. rész)

Gépkocsikban, orvosi eszközökben, mobiltelefonokban, órákban és más testen hordozható eszközökben egyre gyakrabban alkalmaznak szinte észrevehetetlenül apró – mg tömegű – elemeket, amelyeket folyékony szilikongyantából (LSR – liquid silicone resin) fröccsöntéssel sokfészkés szerszámokban állítanak elő. Gyártásuk rendkívül precíz gyártóberendezéseket és nagy tapasztalatot igényel, mert a hőre lágyuló polimerekkel ellentétben, amelyek ömledéke hűtés hatására szilárdul meg, az LSR-nek a fröccsöntés folyamata alatt a hozzá kevert térhálósítóval kémiai reakció lefutásával kell vulkanizálnia. Az ausztriai Engel és németországi KraussMaffei cég az utóbbi években ennek a technológiának specialistái lettek. Publikációnk múlt számában megjelent 1. részében az Engel, lapunk ebben a számában megjelenő 2. részben a KraussMaffei fejlesztéseiről számolunk be.

Tárgyszavak: fröccsöntés; folyékony szilikongyanta; mikrofröccsöntés; miniatürizálás; automatizálás; orvostechnika; mikromembrán

A mai korszerű gyógyszerellátásban olyan adagolóeszközökkel ellátott üvegfiolákat is alkalmaznak, amelyek az üvegben lévő gyógyszerből egyszerre csak egy előre meghatározott mennyiséget engednek ki, emellett megakadályozzák minden más anyag behatolását az üvegbe. Az ilyen szűrőmechanizmus alkalmazására különösen alkalmas a folyékony szilikongyanta (LSR). A **KraussMaffei Technologies GmbH** (München) LSR-ből előállított orvosi mikromembránjaival lezárt üvegek ezt a szűrőfunkciót kifogástalanul ellátják.

A KraussMaffei cég a 8-fészkés gép után már 16- és 32-fészkés szerszámmal dolgozó gyártóegységeket is kínál. Elektromos hajtású *PX 25* és *PX 50* márkájú fröccsgépei ideálisak a mikromembránok gyártására. A tisztateret a gépek körül minimális erővel lehet kialakítani.

A KraussMaffei 32-fészkés szerszámmal dolgozó *PX 180 SilcoSet* gyártórendszerében két fröccsöntő egység van, (a standard 30 mm-es csiga helyett két 15 mm-es csigával). Az ebben gyártott membránok tömege 0,03 gramm, vastagságuk 0,02 mm. Az *SP180* jelzésű fröccsegységgel később nagyobb tömegű darabokat is lehet majd előállítani; ehhez csak a plasztikáló egységet kell majd kicserélni. A kidobó itt villamos hajtású és burkolattal látták el, ezért különösen alkalmas magas osztályú tisztatéri munkára. Külön kiemelendő a szervohidraulikus hajtású fröccsöntő egység, amely szavatolja a kis viszkozitású LSR csepegésmentességét a hideg ömledékcsatornáknál, a tisztatéren kívül. Amikor a mikromembránok elkészültek, az automata ezt fényjelzéssel tudatja. A hattengelyű robot a 100×200 mm felületű fogóval a 32 mikromembránt egyszerre, a 190 °C-os szerszám 2 másodpercnél rövidebb nyitott állapota alatt emeli ki. A nagyon magas hőmérséklet miatt a tervezők a kiemeléskor nem engedték meg a közvetlen érintkezést, hanem vákuumos rásegítéssel oldották meg a termék kivételét a fészkekből. A mikromembránok kiemelés után ellenőrzik, antisztatizálják.

A KraussMaffei cég *SilcoSet* technológiáját több feldolgozó alkalmazza LSR tisztatérben végzett fröccsöntésére. Ez a vállalat már több feldolgozónak adott el a DIN EN ISO 14644-1

szabvány szerinti 5. tisztasági osztályú tisztatérben üzemelő gyártóberendezést, amely kielégíti a GMP (Good Manufacturing Practice – Jó Gyártási Gyakorlat) A osztályú csíramentességének követelményeit, de az ISO 7. és 8. tisztasági osztályú igények kielégítésére is több megoldása van. A fröccsöntő gép és a tisztatér kombinálásának többféle módját fejlesztette ki, és ezeket mindenkor a feldolgozó egyedi szükségleteinek maximális kiszolgálásához igazítva alkalmazza.

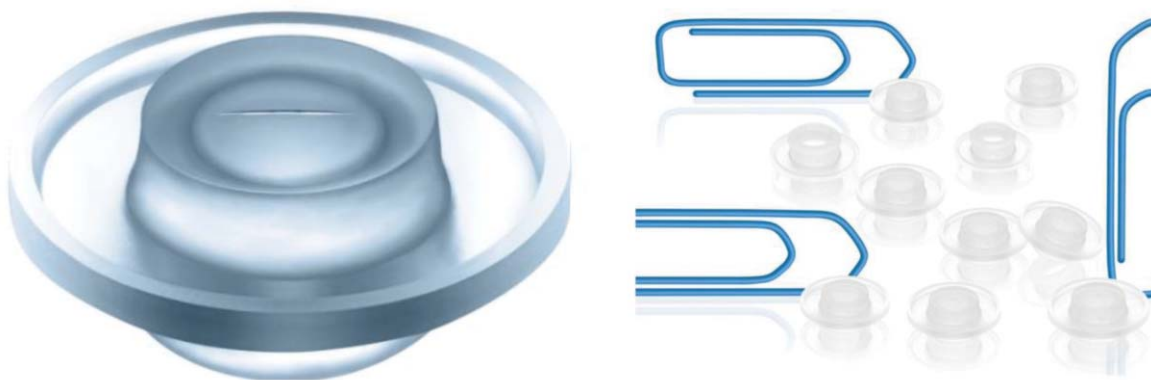
A partnerek gyártási terveinek megvalósítása közben a KraussMaffei legtöbbször szoros kapcsolatba lép a kiválasztott szerszámgyártóval, amely a kész szerszámot rendelkezésükre is bocsátja. A cég körül a szerszámgyártók és az anyaggyártók széles hálózata alakult ki, és a szoros kapcsolat révén mindig meg lehet találni azt a megoldást, amely szavatolja a stabil gyártási eljárást. Példa erre egy orvosságos üveg lezárására kifejlesztett, bemetszéssel ellátott mikromembrán.

Tömör felépítés, automatizálás a tisztatérben

A mikromembrán gyártásakor a szerszámfészekbe mindössze 0,0375 g LSR-t fröccsentenek be. A megrendelő igényei a következők voltak:

- ISO 7. osztályú tisztatér,
- önálló gyártóegység, minimális helyszükséglet és integrált automatizálás,
- maximálisan 30 s ciklusidő,
- 8-fészekes szerszám,
- meghatározott helyen kialakított előírt méretű és mélységű bemetszés a membránon,
- a termék becsomagolása a tisztatérben belül,
- a gyártási folyamat részletes dokumentálása.

A mikromembrán felnagyított ábrája a bemetszéssel az 4. ábrán látható. Ugyanitt érzékelhető az igazi mérete. A 5. ábra a nyitott 8-fészekes szerszámot mutatja a mikromembránok kiemelése előtt.



4. ábra. A mikromembrán felnagyított képe közepén a bemetszéssel (balra) és a valódi mérete gémpapocshoz viszonyítva (jobbra).

A tisztatérrel a kívánt tisztasági fokozatnak megfelelő elemekből állították össze. Az automatizálást burkolattal látták el; ennek és a fröccsgépnek a környezetét is lamináris levegőáram tartja tisztán. A teljesen automatizált és a tisztatérrel összeépíthető, kevés helyet igénylő tömör gyártócellát a KraussMaffei villamos hajtású PX sorozatú gépei közül választották ki. Az automatizálás eszközei kb. 1000×1800 mm helyet igényelnek, közöttük van egy tisztatérben alkalmazható robot is. A tisztatérben helyet kapott egy zacskózó gép a hozzá tartozó szállítószalaggal és egy minőség-ellenőrző kamera is.



5. ábra. 8-fészkes nyitott szerszám a mikromembránok kiemelése előtt.

Az ugyancsak tömör felépítésű fröccsszerszámban a fészkek nagyon közel vannak egymáshoz, ami meglehetősen megnehezíti a 7,50 mm átmérőjű és 0,35 mm vastag falú mikromembránok kiemelését. A megrendelő igényeinek ez a legnehezebben kielégíthető csúcsa volt.

A mikromembránok kiemelését végző fogó alapfelülete 230×240 mm, amelynek magát a szerszámba behatolva centrírozni kell, hogy a meg-

felelő részen végezze el a bemetszést, és utána jó helyen fogja meg a kész darabokat. A fogó szigorú sorrendben végzi el funkcióit: a háromszoros centrírozást, a bemetszést és a kiemelést.

A bemetszést és a kiemelést végző kombinált fogó

A mikromembrán bemetszését nem lett volna célszerű a kiemelés utánra hagyni, mert a rugalmas és puha anyagba nehezen lehetett volna a metszet helyét pontosan betartani, ami bizonytalaná tette volna a membrán működését. A fogó háromszori pozicionálása szavatolja a metszés pontos helyét a szerszámban még elmozdulásra képtelen darabon. A fogón nyolc nemesacélból készített 30 mm hosszú, 5 mm széles, 0,3 mm vastag penge van, amelyekkel a fogó egyszerre metszi be a nyolc membránt a kijelölt helyen és a szükséges mélységben. A metszet hossza 3 mm. Ezt követően nyolc pneumatikus paralellmarkoló fogja meg a filigrán membrán 0,35 mm vastagságú peremét. A kiemeléskor figyelembe kell venni a forró, 170–180 °C-os szerszám és a megfogó szerkezet hőtágulását is. A szerszám hőmérsékletének már csekély csökkenése is megváltoztatja a fészkek közötti távolságot. Ilyenkor a kicsi membránokat már nem lehet sérülésmentesen megfogni, vagy a bemetszés mozdul el a saját helyéről. Ezért a fogószerkezetet valamennyi funkciójához nagyon finoman kell beállítani.

A robot a kiemelt mikromembránokat tartó fogót egy kamerarendszer előtt vezeti el, amely azok épségét ellenőrzi. Hogy a nagyon vékony falú és átlátszó darabok hibáit könnyebben lehessen észrevenni, a fogó alaplapját feketére festik. A hibátlannak bizonyult darabok ezután a csomagológéphez kerülnek, amely zacskókba rakja azokat. A gép vezérlése egyúttal minden egyes gyártóciklushoz egy QR kódot generál, amely rákerül a zacskóra, és ennek segítségével bármikor visszakereshető a ciklus valamennyi adata. A becsomagolt termék csak ez után hagyja el a tisztateret, és juthat el a felhasználóhoz.

Folyamat-ellenőrzés és -vezérlés

A kényes termékek gyártásakor különösen fontos a stabil gyártási folyamat. Az első lépés a gyártócella kiválasztása. Intelligens gépfunkciókkal a gyártási folyamat tovább optimalizálható. A gyártási folyamat három módon ellenőrizhető:

- a ciklus toleranciahatárainak megfigyelése,
- a fröccsöntés folyamatának aktív kiigazítása (APC),
- a nagy felbontású grafikonok futásának kiértékelése.

Számos feldolgozó a toleranciahatárok megfigyelésével, pl. a plasztikálás ciklusban mért időtartamából vagy a polimer maximális nyomásából ítéli meg folyamatot. Ennek hátránya, hogy ezek az adatok csak a termék elkészülte után értékelhetők, és akkor derül ki, hogy értékes terméket vagy selejtet gyártottak-e. A gyártási folyamatban bekövetkező változásokat – pl. a polimer viszkozitásának megváltozását – csak bonyolultabb módon lehet kiegyensúlyozni.

Ehhez fejlesztette ki a KraussMaffei az intelligens *APC plus* (Adaptive Process Control) elnevezésű gépfunkciót, amely kijavítja a fröccsöntés folyamatát még ugyanabban a ciklusban. Ez előtt azonban még nagyobb számú kifogástalan terméket kell legyártani, hogy az ideális gyártási paramétereket (pl. az optimális viszkozitást) meghatározzák, és azt betáplálják a gép vezérlésébe. A folyamat korrekciója független attól, hogy a viszkozitásváltozást anyagcsere, hőmérséklet-ingadozás vagy egy új festék hozzáadása okozta. Hasonló módon igazítható ki a fészekbe befroccsندó polimer optimális tömege is.

A toleranciahatárokhoz hasonlóan – különösen az orvosi eszközök gyártásakor – az APC plus adataihoz is határértékeket kell rendelni. Ez biztosíthatja, hogy erősebb viszkozitásváltozáskor megszólal egy hibát jelző csengő vagy leáll a gép. A fészekbe befroccsندó anyag mennyiségének szabályozása szavatolja a késztermék tömegének pontosságát.

Az APC plus nemcsak a gyártás folyamán, hanem az állásidő utáni újraindításkor is nagyon hasznos lehet. Kísérletek igazolták, hogy már 10 perces leállás után az anyag viszkozitása 25%-kal csökken. Néha ilyen időtartam után már karbantartót kell hívni, hogy megtisztítsa a szerszámot, ami miatt néha egy teljes műszak alatt áll a termelés. A viszkozitás csökkenése következtében a fészek kitöltése hiányos lesz, a hiányos termékeket a markoló nem tudja jól megfogni, a fröccsöntés leáll. A karbantartónak kézzel kell a betapadt membránokat eltávolítani. A szerszám hosszabb ideig van nyitva, és nehezebb lesz indítás után a stabil ciklusokat elérni. A gépkezelőnek hosszabb időt kell a gép mellett töltenie.

Egy másik kísérletsorozatban az átkapcsolási pontot a viszkozitás függvényében aktív állapotfüggő folyamatvezérléssel úgy állították be, hogy a befroccsندott anyag közelítőleg állandó maradjon. A viszkozitás 13%-kal nőtt, a befroccsندott polimer tömege majdnem optimális volt, és az automatikus termékkivétel is működött. Ennek köszönhetően csökkent a munkaerő iránti igény, és amikor a fröccsgépet behúzták a tisztatérbe, ezen a mozgatás is minimálisra csökkent.

Valamennyi előállítási paramétert – közöttük a folyamat kiigazításhoz szükséges APC plus is – nagy felbontásban tárolták, amelyek részletes adatközlés vagy elemzés számára rendelkezésre állnak. A cég partnerei bármikor utána nézhetnek egy gyártási adatnak vagy ellenőrizhetik azt, ami lehetővé teszi, hogy a zavaró tényezőket felfedezzék vagy tovább optimalizálják a termékeket.

Összeállította: Pál Károlyné

- (1) Praher, L.: Micro-injection molding LSR: Exploring the limits of what's possible – *Plastics Technology*, 2021. augusztus
<https://www.ptonline.com/articles/micro-injection-molding-lsr-exploring-the-limits-of-whats-possible>
- (2) Austrian LSR tooling & systems supplier now represented in US – *Plastics Technology*, 2019. január
<https://www.ptonline.com/news/austrian-lsr-tooling-systems-supplier-now-represented-in-us>
- (3) Schierl, St.; Wielad, C. Allmannsberger, M.: Gläserne Production. KraußMaffei liefert maßgeschneiderte Kundenlösungen für die LSR-Verarbeitung – *Kunststoffe*, 2020. 4. sz. 2021. p. 18–21
- (4) Rehm, P.: Turnkey solution for silicone processing. Micromembranes made of LSR – when complex handling is a challenge
<https://ahead.kraussmaffei.com/en/topics/processes-products/d/turnkey-solutions-for-silicone-processing>